

Batik fraktal digital: transformasi motif tenun sulawesi tenggara melalui pemodelan geometri dan kecerdasan buatan (AI)

Zulfaidil^{a,b}, Deni Yehezkiel Fredrick Sembiring Brahmana^b, Poppy Azahra Sutoyo^b, Srih Wahyun^b

^a Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

^b SMAN 1 Kendari, Kendari, Indonesia

INFO ARTIKEL

Diterima 22 Desember 2025

Disetujui 17 Januari 2026

Dipublikasi 27 Januari 2026

*email:

zulfaidil01@gmail.com

Key word:

Artificial Intelligence (AI),

Digital Batik,

Fractals,

Geometric Transformation,

Southeast Sulawesi Weaving

ABSTRACT

Batik and handwoven textiles (tenun) are distinct forms of cultural expression that originate from different traditions across the Indonesian archipelago. While batik developed prominently in Java, Bali, and coastal regions, Southeast Sulawesi has historically expressed its visual culture through weaving. The absence of a batik tradition in this region has limited the adaptation of tenun motifs within contemporary visual media, reducing their exposure and relevance. This condition highlights the need for cultural transmediation that preserves traditional values while embracing technological innovation. This study aims to develop digital batik motifs inspired by Southeast Sulawesi woven patterns using fractal geometry and artificial intelligence (AI). Employing a Research and Development (R&D) approach, the study integrates fractal modeling and geometric transformations with AI-based adaptive design generation. Data collection methods include field observations, documentation, interviews with weaving artisans, geometric analysis, and expert validation. The results show that Koch Curve, Barnsley Fern, and Sierpinski Triangle fractals effectively reflect the repetitive and symmetrical characteristics of traditional tenun motifs. AI integration enhances color composition and morphological variation while maintaining cultural philosophy. Expert validation yielded an average score of 3.61 (highly appropriate). This approach positions fractal geometry and AI as cultural bridges, enabling the sustainable digital transformation of Southeast Sulawesi's woven heritage for contemporary audiences.

ABSTRAK

Kata kunci:

Batik Digital,

Fraktal,

Kecerdasan Buatan (Ai).

Tenun Sulawesi Tenggara,

Transformasi Geometri

Batik dan tekstil tenun merupakan dua medium ekspresi budaya yang berkembang dari akar tradisi yang berbeda di wilayah Nusantara. Batik tumbuh pesat di Jawa, Bali, dan kawasan pesisir, sementara Sulawesi Tenggara secara historis membangun identitas visualnya melalui tradisi tenun. Ketidadaan tradisi batik di wilayah ini menyebabkan motif tenun kurang terekspos dan jarang diadaptasi dalam media visual kontemporer. Kondisi tersebut menuntut adanya upaya transmediasi budaya yang mampu menjaga nilai tradisional sekaligus responsif terhadap perkembangan teknologi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan motif batik digital berbasis geometri fraktal yang terinspirasi dari motif tenun tradisional Sulawesi Tenggara sebagai upaya pelestarian budaya melalui inovasi teknologi. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan pendekatan pemodelan fraktal, transformasi geometri, dan integrasi kecerdasan buatan (AI) untuk menghasilkan variasi desain adaptif. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan,

dokumentasi, wawancara dengan perajin tenun, analisis geometris, serta validasi ahli. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fraktal Koch Curve, Barnsley Fern, dan Sierpinski Triangle mampu merepresentasikan struktur repetitif dan simetri motif tenun Sulawesi Tenggara. Integrasi AI memperkaya komposisi warna dan eksplorasi visual tanpa menghilangkan filosofi budaya. Validasi ahli menghasilkan skor rata-rata 3,61 (kategori sangat layak), sehingga desain yang dihasilkan memenuhi aspek estetika, ilmiah, dan budaya.

PENDAHULUAN

Laju perkembangan teknologi digital dan kecerdasan buatan (AI) telah membawa perubahan mendalam dalam pelestarian seni dan budaya tradisional [1–3]. Transformasi digital tidak hanya berfungsi sebagai metode dokumentasi, tetapi juga membuka ruang inovatif agar warisan budaya dapat beradaptasi dengan kebutuhan visual dan ekonomi masa kini [4,5]. Salah satu warisan budaya yang membutuhkan pendekatan pelestarian kreatif adalah motif tenun Sulawesi Tenggara. Motif ini bukan sekadar pola, tetapi simbol identitas, struktur nilai, dan filosofi masyarakat Tolaki, Muna, Buton, dan etnik lainnya di wilayah tersebut.

Berbeda dengan beberapa daerah lain di Indonesia seperti Jawa, Bali, atau Kalimantan yang memiliki tradisi batik sebagai media ekspresi budaya, Sulawesi Tenggara pada dasarnya tidak memiliki tradisi batik [6,7]. Identitas visualnya diwariskan melalui tenun, bukan batik. Hal ini menyebabkan penyebaran motif Sulawesi Tenggara lebih terbatas, karena tenun membutuhkan proses manual yang panjang, produksi terbatas, dan sulit ditransformasikan ke berbagai media modern. Akibatnya, meskipun motif tenun kaya makna, ia kurang dikenal secara luas dalam industri kreatif nasional maupun global.

Kondisi ini sekaligus menjadi peluang strategis: menghadirkan batik berbasis motif tenun bukan sebagai penyeragaman budaya, tetapi sebagai bentuk pengembangan medium ekspresi yang memungkinkan warisan budaya Sultra tampil dalam ekosistem fashion dan digital yang lebih universal. Dengan menjadikan tenun sebagai sumber pola dan batik sebagai medianya, terjadi proses alih wahana budaya—motif tetap “Sultra”, tetapi mediumnya lebih fleksibel, mudah diproduksi, dan dapat dikembangkan secara komputasional.

Kompleksitas visual motif tenun Sulawesi Tenggara dengan pola repetitif, simetri, dan keteraturan geometri sangat relevan untuk ditransformasikan melalui pemodelan fraktal berbasis matematika. Seperti dikemukakan Jena [8], geometri fraktal memungkinkan pelestarian struktur asli sembari memberi ruang eksplorasi bentuk baru secara presisi. Ketika dipadukan dengan AI generatif, pengembangan motif tidak lagi hanya kreatif, tetapi juga adaptif: motif dapat diperluas, divariasi, dan dieksplorasi tanpa kehilangan akar kulturalnya [9].

Lebih jauh, integrasi budaya lokal dengan teknologi digital memiliki dampak ekonomi yang besar. Das [10] menunjukkan bahwa transformasi digital mendorong motif tradisional masuk ke ekosistem ekonomi kreatif global: mulai dari *fashion*

mass-market, brand identitas lokal, hingga integrasi dalam UI/UX digital, NFT, *augmented reality*, dan produk-produk visual berbasis teknologi. Dengan demikian, pelestarian budaya tidak lagi berhenti pada bentuk “mengarsipkan”, tetapi berkembang menjadi bentuk “membuatnya hidup kembali” dalam media yang lebih kompetitif.

Dengan demikian, pengembangan Batik Fraktal Digital merupakan langkah strategis untuk memperluas media ekspresi budaya Sultra, memperkuat identitas lokal melalui inovasi, dan menciptakan produk budaya yang relevan dalam industri kreatif modern. Pendekatan ini memastikan bahwa tradisi tidak sekadar bertahan, tetapi berevolusi, hadir kembali dalam bentuk baru, dan memiliki daya saing baik secara estetika maupun ekonomi.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) yang dipadukan dengan analisis kualitatif untuk mengembangkan motif batik digital berbasis fraktal yang berakar pada motif tenun tradisional Sulawesi Tenggara. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan proses eksplorasi visual, rekonstruksi geometris, serta integrasi kecerdasan buatan (AI) dilakukan secara bertahap dan terkontrol [11–13]. Penelitian dimulai dengan penggalian karakteristik motif tenun yang masih diwariskan oleh para pengrajin lokal melalui observasi langsung terhadap pola-pola dasar seperti garis, repetisi, simetri, dan komposisi ruang. Setiap detail visual yang terekam kemudian diperkuat dengan wawancara semi-terstruktur yang menggali makna filosofis di

balik setiap motif sehingga proses digitalisasi yang dilakukan tetap merefleksikan nilai budaya aslinya.

Data utama penelitian berasal dari dokumentasi visual yang diperoleh melalui pengambilan gambar motif tenun dalam berbagai sudut untuk menangkap struktur geometrisnya secara menyeluruh. Data ini kemudian dilengkapi dengan wawancara mendalam bersama para pengrajin, desainer batik, serta pendidik di bidang seni dan matematika, sehingga peneliti memperoleh pemahaman menyeluruh mengenai bentuk, nilai, dan aturan estetika dalam motif tradisional tersebut. Penelitian ini juga menggunakan data sekunder berupa jurnal ilmiah dan literatur tentang fraktal, geometri transformasi, batik, dan aplikasi kecerdasan buatan dalam seni visual sebagai landasan teoretis dalam proses perancangan.

Pengembangan motif dimulai dengan proses pemodelan matematis menggunakan pendekatan geometri fraktal. Pola-pola fraktal seperti *Koch Curve*, *Sierpinski Triangle*, dan struktur *IFS (Iterated Function System)* digunakan untuk mengonstruksi karakter repetisi dan simetri khas yang ditemukan pada motif tenun. Setiap model fraktal disimulasikan menggunakan perangkat lunak komputasi, kemudian dikombinasikan dengan transformasi geometri yang meliputi rotasi, translasi, refleksi, dan dilatasi. Transformasi ini memungkinkan pola dasar motif tradisional dipertahankan namun direkombinasi menjadi bentuk yang lebih dinamis dan futuristik.

Tahap berikutnya melibatkan integrasi kecerdasan buatan melalui *AI Pattern Generator*. Teknologi ini berfungsi

menghasilkan variasi motif berdasarkan pola fraktal yang telah dibangun dan sekaligus merespons masukan visual berupa struktur motif tradisional [14]. AI tidak hanya menghasilkan pola baru, tetapi juga menyusun palet warna adaptif yang selaras dengan estetika batik lokal serta menambahkan tekstur digital yang memperkuat nuansa artistik motif. Hasil yang diperoleh dari AI kemudian melalui proses kurasi manual oleh peneliti agar tetap selaras dengan prinsip budaya dan estetika tradisional.

Prototipe desain yang dihasilkan selanjutnya divalidasi oleh empat kelompok ahli, yaitu pengrajin tenun, desainer batik, pendidik matematika, dan kelompok perwakilan generasi muda. Para validator menilai aspek visual, ketepatan konsep matematis, nilai budaya, serta daya tarik desain menggunakan instrumen penilaian skala Likert. Setiap masukan yang disampaikan menjadi dasar dalam proses revisi dan penyempurnaan desain hingga menghasilkan motif batik fraktal digital yang layak secara estetika, matematis, dan kultural.

Seluruh data yang terkumpul dianalisis melalui tahapan reduksi, penyajian, dan penarikan kesimpulan. Reduksi dilakukan dengan menyaring data yang relevan dari hasil observasi, wawancara, dokumentasi visual, serta penilaian para ahli. Data yang telah direduksi kemudian disajikan dalam bentuk narasi, diagram alur proses desain, dan visualisasi motif fraktal sehingga hubungan antarproses dapat dilihat secara

jas. Tahap akhir analisis dilakukan dengan melakukan triangulasi antara data budaya, data visual, dan data matematis untuk memastikan konsistensi temuan. Melalui proses ini, diperoleh pemahaman mendalam mengenai cara motif tradisional dapat ditransformasikan menjadi desain batik digital yang inovatif melalui pemodelan fraktal dan kecerdasan buatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Umum Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan desain batik digital yang terinspirasi dari motif tenun tradisional Sulawesi Tenggara. Pendekatan ini dilakukan dengan menggabungkan pemodelan geometri fraktal dan teknologi kecerdasan buatan (AI) dalam proses penciptaan motif. Konsep fraktal sendiri merupakan bentuk geometri yang memiliki sifat iteratif, simetris, dan *self-similarity* di mana pola yang sama berulang pada skala berbeda. Menurut Wulandari [15], "fraktal batik adalah batik yang desainnya dibuat dengan rumus matematika melalui teknologi komputer". Prinsip inilah yang menjadi dasar dalam penelitian ini, di mana bentuk-bentuk fraktal dimanfaatkan untuk menghasilkan pola batik yang kompleks namun tetap harmonis. Penelitian ini difokuskan pada proses penerapan konsep fraktal sebagai dasar pembentukan pola geometris yang kemudian diolah menjadi motif batik yang terinspirasi dari tenun tradisional Sulawesi Tenggara.

Tabel 1. Klasifikasi Tenun Sultra ke Bentuk Fraktal

Gambar Tenun	Pola yang Terbetuk	Fraktal yang bersesuaian
	Pola zig-zag secara horizontal	<i>Koch Curve</i>
	Susunan daun yang tersusun secara simetris dan berulang	<i>Barnsley Fern</i>
	Motif menyerupai nyala api yang memanjang ke atas secara simetris, menyerupai semburan percikan	-
	Pola segitiga bertingkat horizontal	<i>Sierpinski Triangle</i>

Pada tahap awal, penelitian ini melakukan analisis terhadap bentuk dan karakteristik visual dari motif tenun daerah, yang meliputi unsur garis, titik, dan simetri khas kain tenun. Pola-pola dasar tersebut kemudian dimodelkan menggunakan transformasi geometri seperti translasi,

rotasi, refleksi, dan dilatasi untuk membentuk struktur pola yang lebih kompleks dan berulang (Lihat Tabel 1). Proses ini dilakukan dengan bantuan algoritma berbasis *Artificial Intelligence* (Lihat Tabel 2), yang berfungsi menghasilkan variasi motif secara otomatis

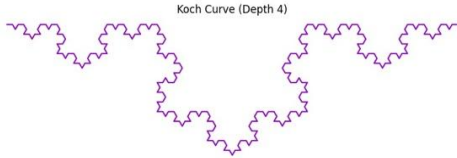
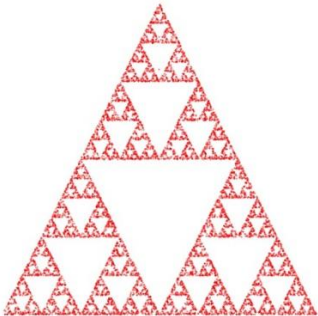
dengan mempertahankan karakter etnik dan nilai filosofis dari motif aslinya. Data tersebut kemudian diolah secara digital untuk menghasilkan pola matematis fraktal yang dapat dikembangkan secara algoritmik [16]. Desain motif akan diuji melalui beberapa tahapan seperti pemodelan fraktal, integrasi AI untuk pewarnaan, serta validasi hasil desain oleh sasaran validator. Kemudian melalui proses validasi oleh empat kelompok validator, yaitu:

1. Pengrajin Tenun, untuk menilai kesesuaian desain dengan nilai budaya

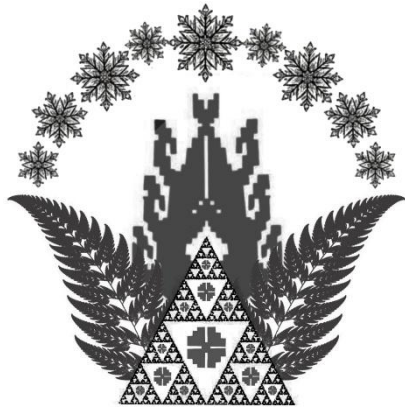
dan potensi penerapan dalam media kain tenun atau batik,

2. Desainer Batik, untuk menilai aspek visual, keserasian warna, serta potensi produksi desain dalam industri batik modern,
3. Guru Matematika, untuk menilai ketepatan konsep fraktal dan penerapan unsur transformasi geometris,
4. Generasi muda, untuk menilai aspek estetika, keunikan, dan relevansi motif dengan tren generasi masa kini.

Tabel 2. Visualisasi Fraktal dengan Python

Fraktal	Visualisasi dengan <i>Python</i>
<i>Koch Curve</i>	 Koch Curve (Depth 4)
<i>Barnsley Fern</i>	 Barnsley Fern
<i>Sierpinski Triangle</i>	 Fraktal Sierpinski (Chaos Game)

1. Pemodelan Fraktal dan Geometri Motif Pertama



Gambar 1. Desain Motif Pertama

Gambar 1 ini merupakan komposisi fraktal yang menggabungkan beberapa pola geometri, yaitu Segitiga *Sierpinski* sebagai struktur utama di bagian bawah, *Barnsley Fern* di sisi kanan dan kiri, pola seperti menara fraktal digital (mirip *Dragon Curve* atau bentuk rekursif simetris) di bagian tengah atas, serta Salju *Koch* yang tersusun melingkar di bagian atas sebagai elemen penghias. Setiap pola dibentuk melalui penerapan transformasi geometri seperti dilatasi, translasi, dan rotasi yang saling mendukung untuk menghasilkan keseimbangan visual dan keserupaan diri antar elemen.

Bagian Segitiga *Sierpinski* di bagian bawah menjadi struktur dasar komposisi. Pola ini terbentuk melalui proses dilatasi skala kecil yang memperkecil segitiga-segitiga di setiap iterasi, kemudian translasi dilakukan untuk menempatkan tiga segitiga kecil pada posisi atas, kiri bawah, dan kanan bawah secara berulang hingga membentuk pola berlapis yang seragam. Transformasi ini menciptakan efek *self-similarity* yang kuat dan menjadi dasar geometris bagi elemen lain di atasnya.

Di sisi kanan dan kiri terdapat pola

daun *Barnsley Fern* yang dibentuk melalui kombinasi dilatasi, rotasi, dan translasi. Proses dilatasi menghasilkan perubahan ukuran dari pangkal hingga ujung daun agar terlihat alami, sedangkan rotasi digunakan untuk mengatur arah pertumbuhan daun sehingga membentuk kesan simetri dua sisi. Translasi kemudian diterapkan untuk menempatkan kedua daun tersebut pada posisi yang seimbang, membingkai bagian tengah pola secara harmonis.

Bagian tengah atas memperlihatkan bentuk seperti pola rekursif menyerupai menara atau siluet simetris, yang terbentuk melalui penerapan translasi vertikal dan refleksi cermin. Setiap lapisan dari bentuk ini mengalami dilatasi dan translasi ke atas untuk menciptakan kesan bertingkat seperti struktur geometri yang tumbuh dari pusat segitiga. Refleksi di kedua sisi mempertegas keseimbangan bentuk, sementara pengulangan pada tiap level menunjukkan prinsip fraktal yang berulang.

Paduan Segitiga *Sierpinski*, *Barnsley Fern*, dan bentuk fraktal menyerupai menara atau rumah adat mengandung nilai spiritual dan penghormatan terhadap leluhur, yang kuat dalam budaya Buton dan Mekongga. Bentuk menara atau struktur vertikal di bagian tengah melambangkan hubungan antara dunia manusia dan dunia spiritual, serupa dengan konsep *mombesara* (penghormatan terhadap asal-usul dan roh nenek moyang). Pola daun dan segitiga yang mengarah ke atas menggambarkan semangat pertumbuhan dan keberlanjutan nilai tradisional yang diwariskan lintas generasi. Dengan demikian, motif ini tidak hanya merepresentasikan keindahan visual, tetapi

juga simbol kontinuitas budaya dan penghormatan terhadap tatanan adat yang menjadi dasar kehidupan masyarakat Sulawesi Tenggara.

Motif Kedua



Gambar 2. Desain Motif Kedua

Motif pada gambar 2 tersebut merupakan hasil integrasi tiga pola fraktal, yaitu Salju Koch, Segitiga Sierpinski, dan *Barnsley Fern* yang masing-masing menerapkan transformasi geometri secara berkesinambungan. Pada bagian tengah, pola Salju Koch terbentuk melalui proses dilatasi untuk memperbesar dan memperkecil segmen garis sehingga menghasilkan bentuk runcing menyerupai kristal. Pola ini kemudian dirotasi dengan sudut 60° agar membentuk enam cabang simetris, serta ditranslasi untuk mengatur posisi segmen-segmen kecil yang tersusun secara beraturan di setiap sisi.

Di dalam bentuk utama tersebut, terdapat pola Segitiga *Sierpinski* yang terbentuk melalui proses pengecilan (dilatasi) dan pengulangan bentuk segitiga yang identik. Setiap segitiga hasil pembagian kemudian dipindahkan (translasi) ke posisi atas, kiri bawah, dan kanan bawah secara teratur, membentuk pola berlapis yang memperlihatkan

keserupaan diri pada setiap tingkatannya.

Sementara itu, pada bagian luar tampak motif *Barnsley Fern* berbentuk daun yang tersusun melingkar mengelilingi pola pusat. Pembentukan pola ini dilakukan dengan proses dilatasi untuk memperkecil ukuran daun menuju ujung, diikuti dengan rotasi untuk mengatur arah pertumbuhan setiap daun sehingga menyebar seimbang di sekeliling bentuk utama. Translasi diterapkan untuk menempatkan setiap daun pada posisi yang tepat agar keseluruhan komposisi tampak harmonis dan simetris.

Gabungan Salju Koch, Segitiga *Sierpinski*, dan *Barnsley Fern*, tampak nilai budaya ketertiban dan keselarasan alam yang mencerminkan filosofi masyarakat Tolaki dan Buton di Sulawesi Tenggara. Pola simetris dan berulang menggambarkan keseimbangan antara manusia dengan alam sekitarnya, sebagaimana prinsip *mosalifondo* (hidup selaras) yang menjadi dasar etika sosial masyarakat Tolaki. Bentuknya yang teratur dan berlapis melambangkan keteraturan hidup, kerja sama, dan kesatuan dalam komunitas, di mana setiap unsur memiliki perannya masing-masing dalam menjaga harmoni kehidupan bersama.

Motif Ketiga



Gambar 3. Desain Motif Ketiga

Gambar 3 merupakan hasil pengembangan dari komposisi fraktal sebelumnya, dengan memadukan tiga pola utama yaitu Salju Koch, Segitiga Sierpinski, dan *Barnsley Fern*, serta menambahkan pengulangan pola Salju Koch secara melingkar di bagian luar. Setiap bagian tersusun melalui penerapan transformasi geometri secara berlapis sehingga membentuk pola fraktal yang kompleks namun tetap simetris.

Pada bagian tengah, pola Salju Koch menjadi elemen inti yang mengalami proses dilatasi untuk memperbesar dan memperkecil ukuran segmen garis, menciptakan bentuk bintang bersudut tajam menyerupai kristal salju. Pola ini kemudian dihasilkan melalui rotasi dengan sudut yang teratur sehingga membentuk simetri enam lipat di sekitar pusat. Selanjutnya, translasi digunakan untuk mengatur posisi setiap elemen kecil di sepanjang sisi pola agar tersusun rapi dan proporsional.

Di dalam pola utama tersebut tersusun Segitiga *Sierpinski* yang memperkaya detail bagian dalam motif. Proses pembentukannya melalui dilatasi skala kecil dan translasi berulang menghasilkan pola

segitiga-serupa yang berulang di tiap lapisan, memperlihatkan karakteristik *self-similarity* khas fraktal.

Bagian daun *Barnsley Fern* yang mengelilingi bentuk utama dihasilkan melalui kombinasi dilatasi, rotasi, dan translasi. Setiap daun mengalami dilatasi bertingkat untuk memperkecil ukurannya dari pangkal ke ujung, kemudian dirotasi dalam sudut yang berbeda agar menyebar melingkar secara harmonis di sekeliling pola pusat. Translasi dilakukan untuk menempatkan masing-masing daun pada posisi yang simetris sehingga membentuk susunan menyerupai kelopak atau sayap.

Lingkar terluar terdiri atas repetisi pola Salju Koch yang ditempatkan melingkar mengelilingi seluruh komposisi. Pengaturan ini menerapkan translasi melingkar dan rotasi berulang dengan jarak serta sudut yang sama di tiap posisi, sehingga membentuk cincin pola berulang yang menegaskan kesan keteraturan dan keseimbangan geometris.

Susunan pola Salju Koch melingkar mengandung nilai kebersamaan dan keutuhan yang mencerminkan semangat gotong royong dan persaudaraan masyarakat Buton dan Muna. Pola yang berulang melingkar melambangkan hubungan yang saling terikat dan tidak terputus, seperti falsafah *Poangka-angkaa* yang berarti saling membantu dan menopang satu sama lain. Struktur melingkar tersebut menggambarkan bahwa kehidupan sosial masyarakat Sulawesi Tenggara berjalan dalam lingkaran kebersamaan dan solidaritas, di mana keseimbangan sosial tercipta dari hubungan yang saling menghargai antarindividu dan kelompok.

2. Integrasi AI dalam Desain Motif

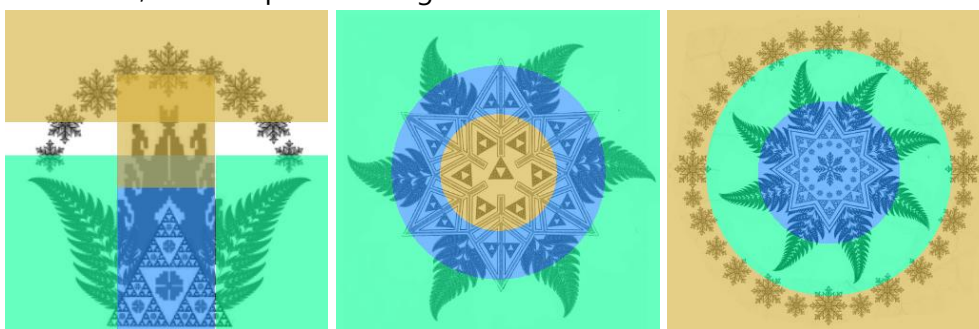
Integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam penelitian ini tidak hanya terbatas pada tahap penyempurnaan visual, tetapi juga pada proses pembentukan pola (*pattern formation*) secara generatif [17]. AI berperan sebagai *pattern generator*, yaitu sistem yang mensintesis bentuk fraktal menjadi motif budaya melalui iterasi algoritmik yang menyerupai prinsip pengulangan dalam teknik menenun. Jika dalam tradisi tenun motif terbentuk dari kombinasi simpul dan tarikan benang, maka dalam AI motif terbentuk dari kombinasi titik, rotasi, dan transformasi parameter matematis yang diolah secara berulang hingga mencapai kestabilan bentuk.

Proses generatif ini dilakukan melalui tiga tahapan. Pertama, AI membangun struktur dasar menggunakan fraktal *Koch Curve*, *Barnsley Fern*, dan *Sierpinski Triangle* sebagai padanan digital dari unsur-unsur visual tenun Sulawesi Tenggara. Kedua, AI melakukan *semantic-mapping*, yaitu menafsirkan struktur matematis tersebut sebagai simbol budaya: *Koch Curve* sebagai pelindung/pembatas, *Barnsley Fern* sebagai lambang kehidupan, dan *Sierpinski Triangle* sebagai inti keteraturan. Ketiga, AI menambahkan lapisan visual berupa palet futuristik – *metallic gold*, *electric blue*, *jade neon*, dan aksent *pearl glow* – bukan sebagai pewarna biasa, tetapi sebagai

bentuk *penegasan nilai* yang selaras dengan hirarki budaya.

Pada tahap ini, AI tidak sekadar “mewarnai”, tetapi membangun bahasa visual baru: motif tidak lagi hanya dipahami sebagai ornamen, melainkan sebagai entitas digital yang menyalurkan memori budaya ke dalam medium modern. Pola yang dihasilkan AI tidak bersifat imitasi, melainkan rekreasi, di mana bentuk tradisional diterjemahkan ulang menjadi geometri algoritmik yang tetap membawa makna filosofisnya. Dengan demikian, AI berfungsi layaknya penenun generatif, yang tidak bekerja dengan benang dan lungsin, tetapi dengan data, geometri, dan gradasi cahaya.

Hasil integrasi ini melahirkan tiga tingkatan motif yang saling melengkapi: motif pinggir sebagai pelapis identitas, motif inti sebagai pusat makna, dan motif mahkota sebagai representasi kesatuan budaya. Ketiganya menunjukkan bahwa teknologi bukan ancaman bagi budaya, tetapi ruang baru bagi keberlangsungannya. AI bukan menggantikan pengrajin, melainkan memperluas wilayah ekspresi budaya, sehingga warisan visual Sulawesi Tenggara tidak hanya terjaga dalam artefak tekstil, tetapi juga hidup sebagai identitas visual di ruang digital masa kini dan masa depan.



Gambar 4. Hasil Pewarnaan dengan AI

Motif pertama berfungsi sebagai lapisan pelindung budaya. Daun pakis (*Barnsley Fern*) melambangkan regenerasi dan kesinambungan kehidupan, sedangkan struktur segitiga berulang merepresentasikan hubungan antara keteraturan matematis dengan kearifan lokal. AI memosisikan warna jade sebagai simbol harmoni alam, biru sebagai representasi maritim dan keterhubungan digital, serta emas sebagai penegas nilai luhur. Melalui proses generatif ini, motif pinggir tidak hanya menjadi ornamen dekoratif, tetapi benteng identitas yang menjaga nilai budaya tetap terbingkai dalam bentuk yang lebih modern.

Motif kedua menempati posisi inti—titik keseimbangan antara tradisi dan inovasi. Bentuk geometris yang dihasilkan AI berasal dari kombinasi algoritma *Sierpinski Triangle* dengan transformasi simetri radial, menciptakan pola yang menyerupai jantung kain tenun. Warna dominan biru elektrik menegaskan karakter maritim Sulawesi Tenggara sekaligus melambangkan keterhubungan digital yang menjadi ciri peradaban modern. Aksen jade dan kilau emas di tepi motif memperkuat kesan harmoni antara alam dan teknologi. Dalam konteks *AI pattern generator*, motif ini merupakan “pusat nalar” sistem generatif—area di mana algoritma membaca fraktal sebagai simbol makna, bukan sekadar bentuk. Setiap iterasi pola mewakili denyut budaya yang tak pernah berhenti: terulang, berevolusi, dan terus hidup di antara piksel dan benang.

Motif ketiga merepresentasikan lapisan nilai tertinggi dalam struktur desain: mahkota budaya. Bentuknya yang menjulang ke atas dibangun melalui

transformasi fraktal bertingkat yang dipadukan dengan prinsip refleksi vertikal, menandakan kesinambungan nilai-nilai luhur dari generasi ke generasi. AI menempatkan elemen ini sebagai puncak desain karena ia berfungsi sebagai “penegas pesan”, bukan sekadar pemanis akhir.

Pada tahap ini, AI berperan bukan hanya sebagai *pattern generator*, tetapi juga sebagai *value stabilizer*, yaitu algoritma yang memastikan warna, bentuk, dan ritme visual merepresentasikan hierarki budaya: emas sebagai kemuliaan tradisi, cahaya putih sebagai simbol pencerahan, dan kilau tepi sebagai tanda kejayaan yang tidak memutuskan akar. Motif mahkota menjadi deklarasi identitas—bahwa budaya tidak sekadar diwariskan, tetapi juga dimodernkan agar tetap berdiri tegak di ruang digital.

3. Hasil Validasi Desain

Validasi dilakukan untuk mengetahui tingkat kelayakan dan kualitas desain motif batik berbasis penerapan matematika fraktal yang dikembangkan dari perpaduan motif tenun khas Sulawesi Tenggara. Tahapan validasi ini bertujuan untuk menilai sejauh mana desain tersebut memenuhi unsur matematis, estetika, budaya, dan daya tarik generasi muda sehingga dapat diterima sebagai inovasi yang bernilai edukatif dan fungsional.

Proses validasi melibatkan empat validator yang berasal dari latar belakang berbeda untuk memberikan penilaian yang menyeluruh dan objektif. Keempat validator tersebut yaitu guru matematika, generasi muda, pengrajin tenun, dan desainer batik. Setiap validator diminta untuk menilai

desain berdasarkan lembar validasi yang memuat beberapa aspek penilaian, di antaranya penerapan konsep fraktal, keindahan desain, relevansi budaya, serta potensi implementasi produk.

Guru Matematika

Validator ini berperan menilai aspek ilmiah dari desain, terutama dalam hal penerapan konsep matematika fraktal. Kami memilih 3 guru matematika untuk menilai sejauh mana prinsip-prinsip seperti simetri, transformasi geometris, dan *self-similarity* diterapkan dengan benar dan logis dalam pembentukan pola batik.

Generasi Muda

Beberapa anak muda yang dijadikan validator untuk menilai aspek daya tarik visual, tren, implementasi produk dan relevansi desain dengan gaya hidup modern. Penilaian dari kelompok ini penting karena desain batik yang dihasilkan diharapkan mampu menarik minat generasi muda untuk mencintai dan mengenakan produk bercorak budaya lokal.

Pengrajin Tenun

Pengrajin tenun berperan menilai sejauh mana desain ini tetap mempertahankan, dan mengangkat nilai budaya tenun Sulawesi Tenggara tanpa menghilangkan identitas aslinya. Mereka menilai keaslian pola, harmoni warna, dan keterpaduan antara unsur tradisional dengan inovasi fraktal yang modern.

Desainer Batik

Validator ini menilai dari sisi komposisi visual, estetika, keseimbangan pola, dan potensi pengembangan menjadi produk batik modern. Penilaian mereka membantu memastikan bahwa desain yang dikembangkan tidak hanya menarik secara konsep, tetapi juga layak diterapkan dalam industri kreatif.

Kegiatan validasi dilaksanakan dengan menggunakan instrumen berupa lembar penilaian validasi desain motif batik. Setiap validator memberikan skor terhadap setiap aspek dengan skala 1-4 (1= sangat tidak sesuai, 4 = sangat sesuai). Berikut rekapitulasi hasil validasi dari masing-masing validator yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Validasi Desain

No.	Validator	Rata-rata Skor	Kategori	Keterangan
1.	Pengrajin Tenun	3,89	Sangat Sesuai	Sudah sangat baik dalam mempertahankan aspek kebudayaan tenun Sulawesi Tenggara
2.	Desainer Batik	3,40	Sesuai	Sudah sangat baik dalam penerapannya namun kejelasan pola masih harus ditingkatkan.
3.	Guru Matematika	3,81	Sangat Sesuai	Pewarnaan dan penerapan pola yang memiliki estetika
4.	Generasi Muda	3,34	Sesuai	Pewarnaan motif lebih

sedikit dikontraskan agar lebih elegan dan tidak terlihat norak.

Rata-rata	3,61	Sangat Sesuai	Dengan sedikit perbaikan pada bagian pewarnaan
Berdasarkan hasil validasi dari empat validator, dapat disimpulkan beberapa hal penting sebagai berikut:			
Aspek Ilmiah (Guru Matematika)			
Berdasarkan hasil penilaian guru matematika, penerapan konsep fraktal dalam desain ini dinilai sangat baik. Pola yang terbentuk telah menunjukkan prinsip fraktal berupa pengulangan pola secara teratur, refleksi atau transformasi geometri. Validator juga memberikan saran agar bagian pewarnaan motif dan penggambaran fraktal pada motif desain batik agar diperjelas, sehingga hubungan antara teori fraktal dan visualisasi motif menjadi lebih kuat secara matematis.		daerah, seperti pola pada beberapa bagian motif daun, segitiga, dan beberapa pola lainnya. Menurut mereka, penerapan unsur fraktal memberikan kesan modern tanpa menghilangkan identitas budaya lokal. Namun demikian, beberapa saran diberikan, misalnya untuk menyesuaikan gradasi warna dan memperhalus transisi pola.	
Aspek Daya Tarik dan Tren (Anak Muda)			
Dari hasil penilaian anak muda sebagai sasaran utama, diperoleh respons yang sangat positif. Mereka menilai bahwa desain ini memiliki warna yang cukup cerah maka dari itu mereka menyarankan untuk sedikit memberikan kontras pewarnaan lembut agar terlihat lebih elegan dan pola yang tampak dinamis dan kekinian. Responden juga menyatakan bahwa motif ini berpotensi diterapkan pada produk fashion seperti kaos, syal dan totebag yang disukai kalangan remaja masa kini.		Aspek Estetika dan Desain (Desainer Batik) Desainer batik memberikan penilaian bahwa desain ini memiliki keseimbangan visual yang indah, serta komposisi warna yang cukup cerah. Unsur fraktal dianggap memberikan nilai artistik yang tinggi karena menciptakan pola berulang yang menarik dan harmonis. Validator juga menilai desain ini memiliki potensi komersial yang baik, karena bisa dikembangkan menjadi produk <i>fashion modern</i> dengan tetap membawa identitas budaya lokal.	
Aspek Budaya dan Tradisi (Pengrajin Tenun)			
Pengrajin menilai bahwa desain berhasil mempertahankan unsur khas tenun		Secara keseluruhan, hasil validasi menunjukkan bahwa desain motif batik berbasis fraktal dari perpaduan tenun Sulawesi Tenggara sangat baik dengan rata-rata skor 3,61. Penilaian ini menggambarkan bahwa desain yang dikembangkan telah memenuhi aspek ilmiah, estetika, dan budayadengan baik.	Dari sisi keilmuan, penerapan matematika fraktal berhasil menghadirkan pola yang teratur dan logis, sekaligus menunjukkan hubungan antara sains dan

seni. Dari sisi budaya, desain ini mampu mengangkat ciri khas Sulawesi Tenggara ke dalam gaya visual modern tanpa menghilangkan nilai tradisionalnya. Sementara dari sisi sosial dan psikologis, desain ini memiliki potensi besar untuk menarik minat anak muda dalam melestarikan budaya lokal melalui media fashion yang lebih dekat dengan gaya hidup mereka.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa inovasi desain batik berbasis fraktal dapat menjadi jembatan antara ilmu pengetahuan dan pelestarian budaya, serta dapat mendorong kreativitas generasi muda dalam mencintai produk lokal dengan pendekatan yang ilmiah dan modern.

4. Pembahasan

Penerapan prinsip fraktal dan transformasi geometri dalam penelitian ini menunjukkan bahwa motif tradisional Sulawesi Tenggara memiliki struktur visual yang sangat sesuai untuk direkonstruksi menggunakan pendekatan matematis. Pola-pola dasar seperti simetri, pengulangan, dan keseimbangan yang terdapat dalam kain tenun Tolaki, Buton, dan Muna memperlihatkan karakteristik *self-similarity* sebagaimana didefinisikan Jin [18], bahwa fraktal membentuk pola yang berulang pada skala berbeda tetapi tetap mempertahankan keserupaan bentuk dasarnya. Penerapan *Koch Curve*, *Sierpinski Triangle*, dan *Barnsley Fern* dalam penelitian ini membuktikan bahwa konsep fraktal mampu merepresentasikan struktur repetitif dan keteraturan geometris pada motif tenun tradisional secara ilmiah. Melalui transformasi geometri seperti

translasi, rotasi, refleksi, dan dilatasi, motif tersebut tidak hanya dapat dipertahankan, tetapi juga direproduksi secara presisi dengan tingkat kompleksitas visual yang tinggi. Temuan ini sejalan dengan Aisyah [19] yang menegaskan bahwa geometri fraktal memberikan ruang eksplorasi bentuk baru tanpa kehilangan struktur orisinalnya, sehingga tradisi visual dapat dipelihara sekaligus ditransformasikan dalam konteks modern.

Transformasi geometri juga memungkinkan penciptaan variasi pola yang tidak menghilangkan identitas lokalnya. Sebagai contoh, translasi digunakan untuk menghasilkan kesinambungan pola zig-zag menyerupai gelombang laut dalam kain Buton, sementara rotasi dan refleksi diterapkan untuk menghasilkan keseimbangan bentuk yang melambangkan harmoni hidup masyarakat Tolaki. Prinsip dilatasi dimanfaatkan untuk menciptakan efek pertumbuhan visual menyerupai struktur daun *Barnsley Fern* yang mencerminkan filosofi regenerasi dan kesinambungan kehidupan. Dengan demikian, pendekatan matematis ini tidak semata-mata bersifat visual, tetapi juga menyentuh dimensi filosofis budaya, di mana keteraturan bentuk mencerminkan keteraturan nilai sosial dan spiritual masyarakat setempat.

Peran kecerdasan buatan (AI) dalam penelitian ini memperluas cakrawala eksplorasi visual dengan menghadirkan pendekatan *generative design* yang adaptif. AI berfungsi sebagai sistem yang tidak hanya meniru, tetapi menginterpretasikan struktur fraktal menjadi entitas visual baru melalui *pattern synthesis* dan *semantic mapping*. Proses ini memungkinkan AI

membaca simbolisme motif lokal misalnya bentuk segitiga sebagai lambang keseimbangan hidup, daun sebagai simbol pertumbuhan, dan garis berulang sebagai representasi kesinambungan budaya lalu mengolahnya menjadi pola digital baru yang kontekstual. Menurut Hubert [20], AI mampu meniru proses kreatif manusia dengan melakukan iterasi estetika berbasis data sehingga menghasilkan desain yang lebih cepat, konsisten, dan tetap bermakna secara simbolik.

Selain itu, integrasi AI memperkuat tahap estetika melalui pewarnaan otomatis dengan palet warna yang merepresentasikan nilai-nilai budaya Sulawesi Tenggara. Warna biru laut mencerminkan identitas maritim, hijau jade melambangkan keseimbangan alam, dan emas menggambarkan nilai luhur serta kemuliaan tradisi. Pemilihan warna berbasis *machine learning* menegaskan bahwa AI dapat digunakan bukan hanya untuk efisiensi produksi, tetapi juga sebagai alat kurasi budaya digital yang mempertahankan makna lokal dalam konteks global. Hal ini sejalan dengan temuan Schinello [21] yang menyatakan bahwa integrasi AI dalam seni budaya mendorong transformasi digital menuju sistem ekonomi kreatif global yang tetap berakar pada identitas lokal. Dengan demikian, AI tidak meniadakan nilai tradisional, tetapi menghidupkannya kembali dalam bentuk baru yang relevan dengan generasi digital.

Integrasi antara fraktal, transformasi geometri, dan AI dalam penelitian ini juga menunjukkan arah baru dalam pelestarian budaya berbasis teknologi. Validasi oleh empat kelompok ahli—pengrajin, desainer

batik, guru matematika, dan generasi muda menunjukkan bahwa desain hasil penelitian memiliki skor rata-rata 3,61 dengan kategori "sangat sesuai". Nilai tersebut menggambarkan penerimaan yang kuat baik dari aspek ilmiah maupun estetika. Guru matematika menilai penerapan fraktal secara teoritis tepat dan proporsional, sementara pengrajin menilai pola-pola tersebut tetap mempertahankan ciri khas tenun daerah. Desainer batik melihat potensi komersial yang tinggi, dan generasi muda menganggap motif ini relevan dengan gaya visual modern. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Gao [22], Zabulis [23], dan Zhang [24] yang menekankan pentingnya adaptasi teknologi dalam pelestarian kerajinan tradisional agar mampu menjangkau generasi muda melalui visualisasi digital.

Lebih jauh, integrasi sains dan budaya ini memperkuat konsep *digital heritage revitalization*, yaitu pelestarian nilai-nilai tradisi melalui media digital yang berdaya guna secara ekonomi dan edukatif. Fraktal berperan sebagai kerangka ilmiah, geometri sebagai struktur estetika, dan AI sebagai katalis kreatif yang menghidupkan ulang motif-motif tradisional dalam ekosistem digital yang dinamis. Penelitian ini mengonfirmasi pendapat Alsaleh [25] bahwa teknologi digital bukan ancaman bagi budaya, melainkan jembatan antara tradisi dan masa depan. Dengan menggabungkan presisi matematis dan sensibilitas budaya, karya batik fraktal digital dari motif tenun Sulawesi Tenggara menjadi simbol bahwa warisan lokal dapat berevolusi tanpa kehilangan akarnya menjadi lebih adaptif, berdaya saing global, sekaligus tetap sarat makna filosofis.

Secara keseluruhan, pembahasan ini memperlihatkan bahwa pendekatan ilmiah berbasis fraktal dan AI tidak hanya menghasilkan produk desain yang estetik, tetapi juga membangun paradigma baru tentang bagaimana ilmu pengetahuan, teknologi, dan kebudayaan dapat bersinergi. Tradisi tidak lagi dilihat sebagai sesuatu yang harus dilestarikan dalam bentuk aslinya, tetapi dapat dikembangkan secara dinamis melalui model rekonstruksi digital yang cerdas. Dengan demikian, Batik Fraktal Digital tidak hanya menjadi inovasi desain, tetapi juga menjadi medium dialog antara matematika, teknologi, dan kearifan lokal dalam membentuk wajah baru kebudayaan Indonesia di era *Society 5.0*.



Gambar 5. Baju Batik Fraktal Digital

Kehadiran baju batik hasil rancangan ini (lihat Gambar 5) menjadi bukti konkret bahwa penggabungan prinsip fraktal dan teknologi AI mampu melahirkan karya budaya baru yang tetap berakar pada identitas lokal. Motif digital yang ditransformasikan ke dalam busana menunjukkan bagaimana estetika tradisional dapat berpadu dengan gaya modern tanpa kehilangan makna filosofisnya. Setiap pola yang menghiasi kain memiliki akar matematis yang kuat sekaligus mengandung simbol-simbol lokal: garis berulang yang menandakan

5. Implikasi Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan konsep fraktal dan geometri terapan, tetapi juga membawa implikasi nyata dalam pelestarian budaya, pendidikan, dan ekonomi kreatif berbasis teknologi. Integrasi antara matematika, seni, dan kecerdasan buatan menghasilkan inovasi yang tidak berhenti pada tataran konseptual, melainkan mewujudkan nyata dalam bentuk visual dan produk yang dapat dikenakan—yakni batik fraktal digital berbasis tenun tradisional Sulawesi Tenggara.

kesinambungan hidup, pola segitiga yang mencerminkan keseimbangan sosial, serta bentuk spiral yang melambangkan hubungan manusia dengan alam.

Secara ilmiah, implikasi penelitian ini memperkuat pandangan bahwa matematika dapat berfungsi sebagai bahasa kebudayaan baru di era digital. Konsep fraktal yang bersifat logis dan sistematis terbukti mampu merepresentasikan keindahan visual yang lahir dari tradisi. Hal ini mendukung pandangan Juhari [26] bahwa penerapan geometri fraktal dalam desain batik adalah

langkah penting menuju sinergi antara ilmu pengetahuan dan ekspresi budaya. Penelitian ini menegaskan bahwa sains tidak hanya menjelaskan dunia, tetapi juga dapat menciptakan keindahan yang bermakna.

Dari perspektif budaya, karya ini menjadi contoh nyata dari *digital heritage revitalization*, yaitu pelestarian nilai-nilai budaya melalui media digital yang hidup dan aplikatif [27]. Motif tradisional yang dulunya hanya dijumpai pada kain tenun kini dihadirkan kembali dalam bentuk batik modern yang dapat dikenakan sehari-hari. Hal ini sejalan dengan gagasan Tillayeva [28] bahwa digitalisasi budaya harus dilihat sebagai strategi memperluas jangkauan tradisi tanpa memutus akar maknanya. Baju batik fraktal digital menjadi bukti bahwa warisan budaya dapat beradaptasi dengan perkembangan zaman tanpa kehilangan roh lokalitasnya.

Dalam konteks ekonomi kreatif, penerapan motif fraktal digital pada busana membuka peluang kolaborasi antara pengrajin lokal, desainer muda, dan pengembang teknologi. Desain ini dapat diintegrasikan dalam *industry fashion technology* dan *digital craft market* sebagai produk budaya yang bernilai tinggi. Seperti disampaikan Zhou dan Lee [29], inovasi berbasis AI mampu meningkatkan nilai ekonomi karya seni dan memperluas pasar global bagi produk beridentitas lokal. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memperkaya khazanah visual Indonesia, tetapi juga menciptakan potensi komersialisasi yang memperkuat posisi budaya daerah di kancah internasional.

Dari sisi pendidikan, karya ini dapat menjadi media pembelajaran lintas disiplin

menggabungkan sains, seni, dan budaya dalam satu kerangka *STEAM learning*. Proses pembuatannya dapat dijadikan proyek pembelajaran bagi siswa untuk memahami bagaimana matematika dan teknologi dapat digunakan untuk melestarikan budaya daerah. Hal ini sejalan dengan semangat Kurikulum Merdeka yang menekankan kolaborasi, kreativitas, dan literasi digital.

Akhirnya, kehadiran batik fraktal digital menjadi puncak dari perjalanan penelitian ini: perpaduan antara angka dan makna, antara algoritma dan estetika, antara tradisi dan inovasi. Ia membuktikan bahwa warisan budaya tidak harus berhenti di museum atau lembar sejarah, tetapi dapat hidup kembali di tubuh generasi masa kini—dalam bentuk pakaian yang bukan sekadar busana, melainkan simbol sinergi antara ilmu pengetahuan dan jati diri bangsa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal berikut yang menjawab rumusan masalah secara sistematis:

Pertama, penerapan prinsip fraktal dan transformasi geometri terbukti mampu merekonstruksi motif tenun tradisional Sulawesi Tenggara ke dalam bentuk digital yang presisi dan estetis. Melalui pola fraktal seperti *Koch Curve*, *Sierpinski Triangle*, dan *Barnsley Fern*, setiap motif tenun berhasil dimodelkan secara matematis dengan mempertahankan karakteristik pengulangan, simetri, serta makna simboliknya. Transformasi geometri meliputi translasi, rotasi, refleksi, dan dilatasi memungkinkan pola-pola tersebut

dikembangkan menjadi desain baru tanpa kehilangan identitas visual dan filosofi lokalnya. Hasil ini membuktikan bahwa konsep fraktal dapat berfungsi sebagai jembatan antara logika matematis dan ekspresi budaya tradisional.

Kedua, kecerdasan buatan (AI) berperan penting dalam menghasilkan desain batik digital berbasis fraktal yang adaptif terhadap nilai budaya lokal. AI tidak hanya mengotomatisasi proses penciptaan pola, tetapi juga memaknai simbolisme visual tenun Sulawesi Tenggara melalui *pattern generation* dan *semantic mapping*. Dengan memanfaatkan pembelajaran mesin, sistem AI mampu menghasilkan variasi tekstur, bentuk, dan kombinasi warna yang merepresentasikan identitas budaya daerah, seperti biru laut untuk karakter maritim, hijau jade untuk harmoni alam, dan emas untuk nilai luhur. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa AI dapat berfungsi sebagai *co-creator budaya*—menggabungkan rasionalitas algoritmik dengan sensibilitas tradisi untuk melahirkan karya digital yang berjiwa lokal.

Ketiga, integrasi fraktal, geometri, dan AI membentuk model inovatif pelestarian budaya yang berorientasi pada masa depan. Validasi dari para ahli dengan rata-rata skor 3,61 (kategori sangat sesuai) menunjukkan bahwa desain yang dihasilkan memiliki nilai estetika, ilmiah, dan kultural yang tinggi. Penerapan motif fraktal digital pada media nyata berupa baju batik memperlihatkan keberhasilan penelitian ini dalam menjembatani ranah ilmiah dengan ranah aplikatif. Integrasi sains dan teknologi dalam pelestarian motif tradisional tidak hanya memperkuat nilai budaya lokal, tetapi juga membuka peluang ekonomi

kreatif berbasis teknologi serta dapat dijadikan model pembelajaran interdisipliner yang selaras dengan semangat Kurikulum Merdeka.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada bagian ini dapat disampaikan ucapan terimakasih kepada institusi, pakar atau badan lain yang berperan penting dalam pelaksanaan penelitian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dev V, Dhingra A, Sharma SK, Koturiya N. Applications of AI in Preservation of Kumaoni Culture Through Digital Archival. 2025 3rd International Conference on Disruptive Technologies (ICDT), IEEE; 2025, p. 758–62. <https://doi.org/10.1109/ICDT63985.2025.10986415>.
- [2] Oveh RO, Aziken G, Atomatofa E. Leveraging AI and Digital Technologies for Cultural Preservation and Exchange in Nigeria. *Journal of Science Research and Reviews* 2025;2:126–30. <https://doi.org/10.70882/josrar.2025.v2i2.48>.
- [3] Wang Y, Zhou Y. Artificial Intelligence-Driven Interactive Experience for Intangible Cultural Heritage: Sustainable Innovation of Blue Clamp-Resist Dyeing. *Sustainability* 2025;17:898. <https://doi.org/10.3390/su17030898>.
- [4] Wang Y, Alli H. Creative Transformation of Cultural Heritage Handicraft Products in the Digital Age. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences* 2025;15. <https://doi.org/10.6007/IJARBS/v15-i4/24993>.
- [5] Zhang A, Gong Y, Chen Q, Jin X, Mu Y, Lu Y. Driving Innovation and Sustainable Development in Cultural Heritage Education Through Digital Transformation: The Role of Interactive Technologies.

- Sustainability 2025;17:314.
<https://doi.org/10.3390/su17010314>.
- [6] Yuniarty T, Atmaja RFD, Usman JIS, Orno TG. In vitro antibacterial activity of patchouli batik (Pogostemon Cablin) plant extract varieties from Southeast Sulawesi and South Sulawesi. Jurnal Teknologi Laboratorium 2023;12.
<https://doi.org/10.29238/teknolabjurnal.v12i2.439>.
- [7] Haris MN, Simpliciano RK. Pengenalan Kegiatan Membatik Terhadap Pembentukan Karakter Peserta Didik di SD Negeri 08 Bendan Kota Pekalongan. Perwira J Community Dev 2025;5:43–6.
<https://doi.org/10.54199/pjcd.v5i2.473>.
- [8] Jena B, Saxena S, Nayak GK, Saba L, Sharma N, Suri JS. Artificial intelligence-based hybrid deep learning models for image classification: The first narrative review. Comput Biol Med 2021;137:104803.
<https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104803>.
- [9] Fei N, Lu Z, Gao Y, Yang G, Huo Y, Wen J, et al. Towards artificial general intelligence via a multimodal foundation model. Nat Commun 2022;13:3094.
<https://doi.org/10.1038/s41467-022-30761-2>.
- [10] Das S, Nayak GK, Saba L, Kalra M, Suri JS, Saxena S. An artificial intelligence framework and its bias for brain tumor segmentation: A narrative review. Comput Biol Med 2022;143:105273.
<https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.105273>.
- [11] Isnanto RR, Hidayatno A, Zahra AA. Fractal Batik Motifs Generation Using Variations of Parameters in Julia Set Function. 2020 8th International Conference on Information and Communication Technology (IColCT), IEEE; 2020, p. 1–6.
<https://doi.org/10.1109/IColCT49345.2020.9166282>.
- [12] Juhari J, Pratiwi AA. Application of the Fractal Geometry in Development Surya Majapahit Batik Motif. JTAM (Jurnal Teori Dan Aplikasi Matematika) 2024;8:924.
<https://doi.org/10.31764/jtam.v8i3.22811>.
- [13] Dewi IKC, Yudianto E, Susanto. Development of Batik Daun Singkong Bondowoso motifs based on fractals as student worksheets. AIP Conf Proc, 2022, p. 030023.
<https://doi.org/10.1063/5.0104379>.
- [14] Lee SE, Har DH. A Study on Visual Pattern Analysis for Authenticity Verification of AI-Generated Images. The Korean Society of Science & Art 2025;43:401–13.
<https://doi.org/10.17548/ksaf.2025.06.30.401>.
- [15] Wulandari EY, Purnomo KD, Kamsyakawuni A. Development Design Labako Batik with Combine Fractal Geometry Dragon Curve and Tobacco Leaf Motif. Jurnal ILMU DASAR 2017;18:125.
<https://doi.org/10.19184/jid.v18i2.5650>.
- [16] Yu Z, Sohail A, Jamil M, Beg OA, Tavares JMRS. Hybrid Algorithm for the Classification of Fractal Designs and Images. Fractals 2023;31.
<https://doi.org/10.1142/S0218348X23400030>.
- [17] Ooi K-B, Tan GW-H, Al-Emran M, Al-Sharafi MA, Capatina A, Chakraborty A, et al. The Potential of Generative Artificial Intelligence Across Disciplines: Perspectives and Future Directions. Journal of Computer Information Systems 2025;65:76–107.
<https://doi.org/10.1080/08874417.2023.2261010>.
- [18] Jin Y, Wu Y, Li H, Zhao M, Pan J. Definition of fractal topography to essential understanding of scale-invariance. Sci Rep 2017;7:46672.
<https://doi.org/10.1038/srep46672>.
- [19] Aisyah KS, Noerwasito VT, Novianto D. Implementing Fractal to Define Balinese Traditional Architectural Facade Beauty: The Kori Agung. DIMENSI (Journal of Architecture and

- Built Environment) 2023;50:111–26.
<https://doi.org/10.9744/dimensi.50.2.111-126>.
- [20] Hubert KF, Awa KN, Zabelina DL. The current state of artificial intelligence generative language models is more creative than humans on divergent thinking tasks. *Sci Rep* 2024;14:3440.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-53303-w>.
- [21] Schinello S. Challenges and opportunities in the use of artificial intelligence in creative economy: Insights from expert interviews. *Economics & Sociology* 2025;18:199–216.
<https://doi.org/10.14254/2071-789X.2025/18-1/10>.
- [22] Gao F. Research on Visualization Education Strategies for Traditional Craftsmanship in the Metaverse Perspective: A Case Study of Kaogong Ji. *Contemporary Education and Teaching Research* 2025;6:63–7.
<https://doi.org/10.61360/BoniCETR252017580205>.
- [23] Zabulis X, Stamou A, Demeridou I, Koutlemanis P, Karamaounas P, Papageridis V, et al. Simulation and Visualisation of Traditional Craft Actions. *Heritage* 2024;7:7083–114.
<https://doi.org/10.3390/heritage7120328>.
- [24] Zhang R, Peng F, Gwilt I. Exploring the role of immersive technology in digitally representing contemporary crafts within hybrid museum exhibitions: a scoping review. *Digital Creativity* 2024;35:355–77.
<https://doi.org/10.1080/14626268.2024.2398457>.
- [25] Alsaleh A. The impact of technological advancement on culture and society. *Sci Rep* 2024;14:32140.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-83995-z>.
- [26] Juhari J. The Study Geometry Fractals Designed on Batik Motives. *CAUCHY: Jurnal Matematika Murni Dan Aplikasi* 2019;6:34–9.
<https://doi.org/10.18860/ca.v6i1.8081>.
- [27] Widadi Z, Murty DA, Wahyu AD, Lestari R, Haris MN. Branding Kota Pekalongan: Integrasi budaya dan teknologi dalam meningkatkan wisata dan investasi. *Canting J Batik Indones* 2025;2:40–5.
<https://doi.org/10.31941/cjbi.v2i2.662>.
- [28] Tillayeva G. The Impact of Digitalization on Cultural Practices and Values. *International Journal of Law and Policy* 2025;3:1–21.
<https://doi.org/10.59022/ijlp.263>.
- [29] Zhou E, Lee D. Generative artificial intelligence, human creativity, and art. *PNAS Nexus* 2024;3.
<https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgae052>.